



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 M 8/04

⑧7 EP 0 630 528 B1

⑩ DE 693 02 902 T 2

②1 Deutsches Aktenzeichen:	693 02 902.1
⑧6 PCT-Aktenzeichen:	PCT/CA93/00091
⑧6 Europäisches Aktenzeichen:	93 907 675.8
⑧7 PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 93/18556
⑧6 PCT-Anmeldetag:	12. 3. 93
⑧7 Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	16. 9. 93
⑧7 Erstveröffentlichung durch das EPA:	28. 12. 94
⑧7 Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	29. 5. 96
④7 Veröffentlichungstag im Patentblatt:	12. 12. 96

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1  
13.03.92 US 850570

⑦3 Patentinhaber:  
Ballard Power Systems Inc., North Vancouver,  
British Columbia, CA

⑦4 Vertreter:  
Höger, Stellrecht & Partner, 70182 Stuttgart

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:  
CH, DE, FR, GB, IT, LI

⑦2 Erfinder:  
MERRITT, Robert D., Vancouver, British Columbia  
V6R 3A3, CA; BLAIR, James D., Burnaby, British  
Columbia V5H 2Z3, CA

⑤4 KONSTANTSPANNUNGS-BRENNSTOFFZELLE MIT VERBESSERTER REAKTANTENVERSORGUNG UND  
STEUERUNGSSYSTEM

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 693 02 902 T 2

DE 693 02 902 T 2

### Technischer Bereich der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft elektrochemische Brennstoffzellen. Im einzelnen betrifft die vorliegende Erfindung ein auf Brennstoffzellen basierendes System zur Erzeugung von elektrischer Leistung mit einer verbesserten Reaktantenzufuhr und einem verbesserten Steuer- bzw. Regelsystem.

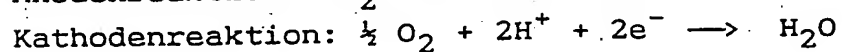
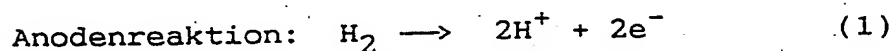
### Hintergrund der Erfindung

Elektrochemische Brennstoffzellen erzeugen elektrische Energie durch direktes Umwandeln von chemischer, von einem Brennstoff erhaltener Energie in elektrische Energie, und zwar durch Oxidieren des Brennstoffs in der Zelle. Eine typische Brennstoffzelle umfaßt eine Anode, eine Kathode und einen Elektrolyten. Brennstoff und ein Oxidationsmittel werden der Anode bzw. der Kathode zugeführt. An der Anode durchdringt der Brennstoff das Elektrodenmaterial und reagiert an der Anodenkatalysatorschicht, wodurch Kationen gebildet werden, die durch den Elektrolyten zu der Kathode wandern. An der Kathode reagiert das Oxidationsmittel (beispielsweise Sauerstoff oder ein zugeführtes sauerstoffhaltiges Gas) an der Kathodenkatalysatorschicht, um Anionen zu bilden. Die an der Kathode gebildeten Anionen reagieren mit den Kationen, wodurch ein Reaktionsprodukt gebildet wird. Die Brennstoffzelle erzeugt einen verwendbaren elektrischen Strom und das Reaktionsprodukt wird aus der Zelle entfernt.

In elektrochemischen Brennstoffzellen, welche Wasserstoff als Brennstoff und sauerstoffhaltige Luft (oder reinen Sauerstoff) als Oxidationsmittel verwenden, erzeugt eine katalysierte Reak-

tion an der Anode Wasserstoffkationen aus dem zugeführten Brennstoff. Eine Ionenaustauschmembran erleichtert die Wanderung von Wasserstoffionen (Protonen) von der Anode zur Kathode. Zusätzlich zu dem Leiten von Wasserstoffkationen isoliert die Membran den Wasserstoff-Brennstoffstrom von dem Oxidationsmittelstrom, der sauerstoffhaltige Luft umfaßt. An der Kathode reagiert Sauerstoff an der Katalysatorschicht, wodurch Anionen gebildet werden. Die an der Kathode gebildeten Anionen reagieren mit den Wasserstoffionen, welche durch die Membran getreten sind, wodurch flüssiges Wasser als Reaktionsprodukt gebildet wird.

Die Reaktionen an Anode und Kathode in solchen Brennstoffzellen sind in den nachstehenden Gleichungen (1) und (2) gezeigt:



Brennstoffzellen aus festem Polymer enthalten im allgemeinen eine Membran-Elektroden-Anordnung ("MEA"), bestehend aus einem Elektrolyten aus festem Polymer oder einer Ionenaustauschmembran, welche(r) zwischen zwei Elektroden angeordnet ist, die aus porösem, elektrisch leitendem Blattmaterial gebildet sind. Die Elektroden sind typischerweise aus Kohlefaserpapier gebildet und im allgemeinen mit einem wasserabweisenden Polymer imprägniert oder beschichtet, zum Beispiel mit Polytetrafluoroethylen. Die MEA umfaßt eine Schicht aus Katalysator an jeder Schnittstelle von Membran und Elektrode, um die erwünschte elektrochemische Reaktion zu induzieren. Typischerweise wird ein feinverteilter Platinkatalysator verwendet. Die MEA wiederum ist zwischen zwei elektrisch leitfähigen Platten angeordnet, von denen jede wenigstens einen darin eingravierten oder gefrästen Durchflußkanal aufweist. Diese Fluidströmungsfeld-Platten sind typischerweise aus Graphit hergestellt. Die Durchflußkanäle leiten den Brennstoff und das Oxidationsmittel zu den jeweiligen Elektroden, nämlich der Anode auf der Brenn-

stoffseite und der Kathode auf der Oxidationsmittelseite. Die Elektroden sind elektrisch gekoppelt, wodurch ein Weg zum Leiten von Elektronen zwischen den Elektroden geschaffen wird.

In einer Ein-Zellen-Anordnung sind Fluidströmungsfeld-Platten auf jeder Seite von sowohl Anode als auch Kathode vorgesehen. Die Platten wirken als Stromabnehmer, bieten den Elektroden Halt und sehen Zugangskanäle für den Brennstoff und das Oxidationsmittel zu den jeweiligen Anoden- und Kathodenoberflächen vor sowie Kanäle für das Entfernen von während des Betriebs der Zelle gebildetem Wasser.

Zwei oder mehrere Brennstoffzellen können in Reihenschaltung oder in Parallelschaltung miteinander verbunden werden, um die Gesamtausgangsleistung des Aggregats zu erhöhen. Bei solchen Anordnungen sind die Zellen typischerweise in Reihe geschaltet. Eine Seite einer gegebenen Platte dient als Anodenplatte für eine Zelle und die andere Seite der Platte ist die Kathodenplatte für die benachbarte Zelle. Eine solche in Reihe geschaltete Anordnung von mehreren Brennstoffzellen wird als Brennstoffzellenstapel bezeichnet und üblicherweise durch Zugstangen und Endplatten zusammengehalten.

Der Stapel umfaßt typischerweise Zuleitungsverteiler oder -einlässe zum Leiten des Brennstoffs (im wesentlichen reiner Wasserstoff, Methanolreformat oder Naturgasreformat) und des Oxidationsmittels (im wesentlichen reiner Sauerstoff oder sauerstoffhaltige Luft) zu den Strömungsfeldkanälen der Anode und der Kathode. Abgassammler oder -auslässe sind typischerweise für das Ausstoßen der nichtumgesetzten Brennstoff- und oxidierenden Gase vorgesehen, die alle mitgeführtes Wasser transportieren.

Der Stapel umfaßt üblicherweise auch einen Zuleitungsverteiler oder -einlaß zum Leiten der Kühlflüssigkeit, typischerweise Wasser, zu den inneren Kanälen innerhalb des Stapels zum Auf-

nehmen von Wärme, welche durch die exotherme Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff innerhalb der Brennstoffzellen erzeugt wird. Ein Auslaßsammelr ermöglicht dem Kühlwasser, den Stapel zu verlassen.

Bei Brennstoffzellen, die Wasserstoff als den aktiven Bestandteil des Brennstoffs und Sauerstoff als den aktiven Bestandteil des Oxidationsmittels verwenden, kann der Brennstoff als im wesentlichen reiner Wasserstoff oder als ein wasserstoffhaltiges Reformat wie beispielsweise das Produkt der Reformation von Methanol und Wasser oder der Reformation von Naturgas zugeführt werden. Gleichmaßen kann das Oxidationsmittel als im wesentlichen reiner Sauerstoff oder als sauerstoffhaltige Luft zugeführt werden.

Die Reaktanten werden üblicherweise vor dem Eintreten in den Stapel befeuchtet, damit sie nicht die Membranen, welche die Anode und die Kathode jeder Zelle trennen, austrocknen und dadurch beschädigen. Solche Membranen benötigen im allgemeinen die Gegenwart von Wasser, um den Ionentransport zu bewirken.

Die Brennstoffzellen werden typischerweise mit dem gewählten Brennstoff und dem Oxidationsmittel bei einem konstanten Druck überflutet. Der Druck wird im allgemeinen von einem Regler an der Reaktantenquelle eingestellt. Wenn eine elektrische Last an den die Elektroden verbindenden Schaltkreis angeschlossen wird, werden der Brennstoff und das Oxidationsmittel in direktem Verhältnis zu dem durch die Last abgezweigten elektrischen Strom verbraucht.

Jeder aus dem Stapel austretende Reaktantenstrom enthält im allgemeinen das ihm zur Befeuchtung zugegebene Wasser. Der den Stapel verlassende Oxidationsmittelstrom enthält im allgemeinen auch Produktwasser, welches an den Kathoden der Brennstoffzellen erzeugt wurde. Das aus einem oder beiden aus der Brennstoffzelle austretenden Reaktantenstrom bzw. -strömen extra-

hierte Wasser wird in einem Abscheider oder einer Ausscheidetrommel gesammelt. Das überschüssige Wasser kann wieder zurückgeführt und als ein Kühlmittel verwendet oder aus dem System abgeleitet werden.

Wenn einer der in der Brennstoffzelle verwendeten Reaktanten im wesentlichen reiner Wasserstoff oder Sauerstoff ist, kann der aus dem Brennstoffzellenstapel austretende unverbrauchte Reaktant wieder zurückgeführt werden, um Abfall bzw. Verschwendung zu minimieren. Nach dem Entfernen des überschüssigen Wassers von dem unverbrauchten Reaktanten wird dieser wieder zurückgeführt und stromaufwärts des Einlasses zu dem Brennstoffzellenstapel mit dem Strom an frischem Reaktanten vermischt.

Wenn einer der Reaktanten ein verdünnter Reaktant wie etwa ein Reformat oder Luft ist, kann der unverbrauchte Teil des aus dem Brennstoffzellenstapel austretenden Reaktantenstrom in den Prozeß zurückgeführt werden, insbesondere dann, wenn es sich um den Brennstoffstrom handelt. Jedoch wird der verdünnte Reaktant meistens ausgeschieden, nachdem er den Brennstoffzellenstapel einmal durchlaufen hat, insbesondere dann, wenn der verdünnte Reaktant Luft ist. Das überschüssige Wasser in dem unverbrauchten Teil des Reaktanten wird im allgemeinen entfernt und in einen Abscheider oder eine Ausscheidetrommel geleitet und dann daraus entleert. Der unverbrauchte Teil des Reaktantenstroms wird dann in die Außenluft abgelassen.

Es ist vorteilhaft, den Strom des Brennstoffzellen-Produktwassers mit dem Kühlmittelstrom zu integrieren und somit das in dem Brennstoffzellenstapel elektrochemisch erzeugte Produktwasser zum Regulieren der Temperatur in dem Stapel zu verwenden. In dieser Hinsicht wird durch die Verwendung von Produktwasser als dem Kühlmittel die Notwendigkeit vermieden, eine separate externe Kühlflüssigkeitsquelle vorzusehen, da das durch die Zelle erzeugte Wasser selbst eine geeignete Kühlflüssigkeit darstellt.

Besondere Aufmerksamkeit soll nun einem Brennstoffzellensystem geschenkt werden, bei welchem der Wasserstoff in dem System wieder in den Kreislauf zurückgeführt wird, bis er im wesentlichen gänzlich verbraucht ist, während der Sauerstoff in verdünnter Form als Luft vorgesehen ist. In einem solchen System wird die Luft ausgeschieden, nachdem sie einmal durch die Brennstoffzelle geführt wurde und bevor ihr Sauerstoffgehalt im wesentlichen erschöpft ist. Bei einem solchen System ist das Definieren von Reaktantennutzungsverhältnissen zweckmäßig.

In dieser Beschreibung wird das Sauerstoffnutzungsverhältnis als die Menge des pro Zeiteinheit der Brennstoffzelle zugeführten Sauerstoffbestandteils, dividiert durch die Menge des pro Zeiteinheit in der Brennstoffzelle verbrauchten Sauerstoffbestandteils definiert. Im allgemeineren Sinn kann ein Reaktantennutzungsverhältnis definiert werden. Dieses Verhältnis wird in dieser Beschreibung als die Menge des aktiven Bestandteils eines Reaktanten definiert, die pro Zeiteinheit dem Brennstoffzelleneingang zugeführt wird, dividiert durch die Menge des pro Zeiteinheit in der Brennstoffzelle verbrauchten aktiven Bestandteils dieses Reaktanten.

Zur Vermeidung der dem Extrahieren des gesamten aktiven Bestandteils eines der Brennstoffzelle zugeführten Reaktanten innewohnenden Wirkungslosigkeit wird jedes Reaktantennutzungsverhältnis im allgemeinen auf einem Niveau aufrechterhalten, welches wesentlich höher ist als 1,0. Beispielhafte Sauerstoffnutzungsverhältnisse für Brennstoffzellen liegen bei ungefähr 1,2 bis ungefähr 3,0, vorzugsweise bei ungefähr 1,7 bis ungefähr 2,2, und am bevorzugtesten bei ungefähr 2,0. Wird der Wasserstoff oder ein anderer Brennstoff wieder in den Prozeß zurückgeführt und somit im wesentlichen gänzlich verbraucht, repräsentiert das Sauerstoffnutzungsverhältnis auch den überschüssigen zugeführten Sauerstoff, verglichen mit der stöchiometrischen Menge an Sauerstoff, welche durch die Reaktion mit Wasserstoff zum Bilden von Wasser verbraucht wird.

Eine Möglichkeit, die Effizienz eines Brennstoffzellensystems zur Erzeugung von Leistung zu verbessern, ist die Optimierung der Reaktantennutzungsverhältnisse und ganz besonders des Sauerstoffnutzungsverhältnisses in der Brennstoffzelle für die jeweiligen gewählten Betriebsbedingungen. (Das Wasserstoffnutzungsverhältnis kann ebenfalls innerhalb des Rahmens der vorliegenden Erfindung optimiert werden. Jedoch ist in der als Beispiel dargestellten und von den Erfindern betriebenen Ausführungsform überschüssiger Wasserstoff vorhanden und Sauerstoff der die Reaktion beschränkende Reaktant. Unter diesen Umständen regulieren die Erfinder lieber das Sauerstoffnutzungsverhältnis als das Wasserstoffnutzungsverhältnis.)

Beim Optimieren des Sauerstoffnutzungsverhältnisses für eine Brennstoffzelle ist die Ausgangsleistung der Brennstoffzelle zu jedem gegebenen Zeitpunkt in Erwägung zu ziehen. Bei den meisten in der Praxis verwendeten Systemen muß die Brennstoffzelle eine veränderbare Ausgangsleistung haben, damit sie je nach Bedarf mehr oder weniger Leistung liefern kann. Daher besteht eine Notwendigkeit zur Optimierung des Sauerstoffnutzungsverhältnisses gemäß der Stoßausgangsleistung der Brennstoffzelle zur Verbesserung der Effizienz.

Ein erschwerender Faktor bei der Optimierung des Sauerstoffnutzungsverhältnisses einer Brennstoffzelle ist die Schwankung der Menge der elektrischen Leistung, welche für den Betrieb des Brennstoffzellensystems unter verschiedenen Bedingungen der elektrischen Ausgangsleistung und des Brennstoffzellenbetriebs erforderlich sind. Leistung wird üblicherweise von dem elektrischen Ausgang der Brennstoffzelle abgezweigt, um die Pumpen, Steuer- und Regelsysteme und andere Hilfsvorrichtungen des Brennstoffzellensystems selbst zu betreiben. Diese abgezweigte Leistung wird üblicherweise und auch in dieser Beschreibung als "parasitäre Leistung" bezeichnet. Der parasitäre Leistungsverbrauch der Zelle verringert die Bruttoausgangsleistung, da die für den Betrieb des Erhaltungssystems der Brennstoffzelle er-



forderliche parasitäre Leistung von der Bruttoausgangsleistung der Zelle abgezogen werden muß, um die Nettoleistung zu ergeben, die für den Betrieb des Primärverbrauchers durch die Brennstoffzelle zur Verfügung steht.

Die Menge der für den Betrieb des Brennstoffzellensystems erforderlichen parasitären Leistung verändert sich im wesentlichen mit den Veränderungen der Ausgangsleistung und anderen Betriebsbedingungen der Brennstoffzelle. Beispielsweise kann eine Erhöhung der von der Brennstoffzelle geforderten Nettoausgangsleistung auch die Menge der parasitären Leistung erhöhen, die zum Erfüllen des erhöhten Nettoleistungsbedarfs von der Zelle abgezogen werden muß. Daher erhöht sich der Bruttoleistungsbedarf stärker als der Anstieg des Nettoleistungsbedarfs.

Ist das Sauerstoffnutzungsverhältnis hoch, wie es typischerweise unter Bedingungen einer hohen Nettoausgangsleistung der Fall ist, ist die Menge der von der Brennstoffzelle abgezogenen parasitären Leistung ebenfalls hoch. Dies trifft teilweise auf eine luftatmende Brennstoffzelle zu, bei welcher Luft vor dem Eintreten in die Brennstoffzelle verdichtet wird. Bei einem mit Raumluft arbeitenden System wird die Verdichtung üblicherweise durch Betreiben eines Kompressors entweder ganz oder teilweise (d.h. durch ein Schwungrad oder dergleichen verstärkt) mit parasitärer Leistung bewirkt. Die Menge der für den Kompressor benötigten parasitären Leistung ist proportional zu dem Druck und der Mengenflußrate der verdichteten Luft. Wenn das Sauerstoffnutzungsverhältnis hoch ist, so wird der größte Teil der verdichteten Luft und insbesondere ihr inerter Stickstoffbestandteil nicht in der Brennstoffzelle genutzt.

Die für das Erhöhen der Bruttoausgangsleistung der Brennstoffzelle notwendige Erhöhung der parasitären Leistung kann so groß sein, daß der Zweck der Erhöhung der Bruttoausgangsleistung der Brennstoffzelle zunichtegemacht wird. Ein großer Teil der Erhö-

hung der Bruttoausgangsleistung wird unter bestimmten Bedingungen wegen des Anstiegs im Verbrauch an parasitärer Leistung eingebüßt.

Andererseits besteht im Falle eines abnehmenden oder geringen Nettoleistungsbedarfs eine entsprechende Notwendigkeit, den zum Betrieb der Brennstoffzelle erforderlichen Verbrauch an parasitärer Leistung zu verringern. Andernfalls ist das Brennstoffzellensystem dann nicht gut zum Brennstoffsparen ausgebildet, wenn der Nettoleistungsbedarf abnimmt oder gering ist.

Ein weiteres Problem auf dem Gebiet der Technik ist die Bereitstellung eines Brennstoffzellensystems zur Erzeugung von Leistung mit einer im wesentlichen konstanten Ausgangsspannung, selbst bei Schwankungen seines Laststroms. Viele elektrische Geräte, insbesondere Wechselrichter zum Umwandeln von Gleichstromleistung zu Wechselstromleistung, benötigen eine im wesentlichen gleichmäßige Spannung, um wirksam betrieben werden zu können und um bei ausreichend großen Spannungsschwankungen auftretende Schäden zu vermeiden. Jedoch wird sich bei einer bei gleichmäßigem Druck und gleichmäßiger Temperatur betriebenen Brennstoffzelle die Ausgangsspannung verändern, wenn sich die Laststromstärke (d.h. die Ausgangsstromstärke) ändert, wie in Figur 1 graphisch dargestellt ist. Dies wirft ein Problem auf, das gelöst werden muß, wenn die Brennstoffzelle eine konstante Spannung liefern soll, ungeachtet der Veränderungen in ihrem Ausgangsstrom.

Noch ein weiteres Problem in der Technik besteht in der Frage, wie der Druck und die Mengenflußrate eines Reaktantengases in einem Brennstoffzellensystem zur Erzeugung von Leistung unabhängig und automatisch reguliert werden kann. Bei herkömmlichen Systemen sind sowohl der Druck als auch die Mengenflußrate jedes Reaktantengases stromaufwärts der Brennstoffzelle eingestellt worden, wobei die Brennstoffzelle und die stromabwärts angeordneten Vorrichtungen einen Festwiderstand gegen den Fluß

darstellen (welcher bestenfalls manuell wie etwa durch Anpassen eines Abluftventils oder dergleichen verändert werden konnte). Daher war es bislang nicht möglich, den Druck eines Reaktantengases innerhalb der Brennstoffzelle automatisch zu verändern, unabhängig von der automatischen Regulierung der Mengenflußrate des Reaktantengases innerhalb der Brennstoffzelle. Aus Gründen, welche im folgenden klarer werden, ist es oft wünschenswert, diese Variablen unabhängig voneinander und automatisch einzustellen, so daß die Brennstoffzelle optimal auf Schwankungen in ihrer elektrischen Ausgangsleistung reagieren kann.

Demgemäß ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung die Optimierung der Reaktantennutzung in einer Brennstoffzelle unter verschiedenen Betriebsbedingungen.

Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Schaffung eines Brennstoffzellensystems zur Erzeugung von Leistung mit einer im wesentlichen konstanten Ausgangsspannung, selbst wenn sein Laststrom variiert.

Eine zusätzliche Aufgabe der Erfindung ist das Steuern bzw. Regeln des Drucks eines Reaktantengases in der Brennstoffzelle, um eine im wesentlichen konstante Ausgangsspannung aufrechtzuerhalten.

Noch eine Aufgabe der Erfindung ist das Steuern bzw. Regeln der Temperatur in der Brennstoffzelle, um eine im wesentlichen konstante Ausgangsspannung aufrechtzuerhalten.

Eine zusätzliche Aufgabe der Erfindung ist die Minimierung des Verbrauchs an parasitärer Leistung in einem auf Brennstoffzellen basierenden System zur Erzeugung von elektrischer Leistung, insbesondere dann, wenn das System auf Niveaus verringerten Nettoleistungsbedarfs betrieben wird.

Noch eine weitere Aufgabe der Erfindung ist das gleichzeitige Regulieren des Drucks und der Mengenflußrate eines Reaktanten-

gases in einem System zur Erzeugung von elektrischer Leistung, das wenigstens eine Brennstoffzelle umfaßt.

Eine oder mehrere der voranstehenden Aufgaben bzw. eine oder mehrere Aufgaben, welche bei der Erwägung der vorliegenden Beschreibung deutlich werden, werden durch die hier beschriebene Erfindung erfüllt.

### Zusammenfassung der Erfindung

Ein Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zum Regulieren der Nutzung wenigstens eines der Reaktanten in einer Brennstoffzelle. In einem möglichen Brennstoffzellentyp sind die Reaktantengase ein oxidierendes Gas und ein Brennstoffgas. Das oxidierende Gas enthält Sauerstoff als seinen Reaktantenbestandteil und gegebenenfalls die anderen Bestandteile von Luft als inerte Bestandteile. Das Brennstoffgas enthält Wasserstoff als Reaktantenbestandteil und gegebenenfalls die anderen Bestandteile eines Reformats (z.B. Naturgasreformat, Methanolreformat und Kombinationen hiervon) als inerte Bestandteile. Die Brennstoffzelle besitzt einen Eingang und einen Ausgang für jedes Reaktantengas.

Das Verfahren umfaßt die Schritte des Zuleitens des Reaktantengases zu dem Reaktanteneingang und des Auswählens eines Reaktantennutzungsverhältnisses für die Brennstoffzelle. Dieses Verhältnis wird definiert als die Menge des pro Zeiteinheit dem Brennstoffzelleneingang zugeführten Reaktanten, dividiert durch die Menge des pro Zeiteinheit in der Brennstoffzelle verbrauchten Reaktanten. Der Reaktantenverbrauch ist im allgemeinen direkt proportional zu dem Brennstoffzellenausgangsstrom. Eine Mengenflußrate des Reaktantengases wird bestimmt, um das ausgewählte Reaktantennutzungsverhältnis zu ermöglichen.

Die tatsächliche Mengenflußrate des Reaktantengases wird am Reaktantengaseingang der Brennstoffzelle gemessen. Die Mengen-

flußrate des Reaktantengases wird mittels eines Durchflußmengenreglers am Reaktantengasausgang der Brennstoffzelle reguliert. Der Durchflußrechner, der primär auf den Brennstoffzellenausgangstrom und sekundär auf die am Reaktantengaseingang gemessene Mengenflußrate anspricht, betätigt den Durchflußmengenregler. Diese Regulierung erhält die Mengenflußrate des Reaktantengases aufrecht, welche zum Erhalten des erwünschten Reaktantennutzungsverhältnisses als geeignet bestimmt wurde.

Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zum Erhalten einer im wesentlichen konstanten Ausgangsspannung, ungeachtet irgendwelcher Ausgangsstromschwankungen, in einem auf Brennstoffzellen basierenden System zur Erzeugung von elektrischer Leistung. Das System umfaßt einen Eingang eines Reaktantengases und einen elektrischen Ausgang, welcher durch eine Spannung und eine Stromstärke gekennzeichnet ist. Das Verfahren umfaßt die Schritte des Auswählens einer Nennausgangsspannung der Brennstoffzelle und ein wenigstens periodisch (und im normalen Betrieb kontinuierlich) durchgeführtes Ermitteln der Spannung und gegebenenfalls der Stromstärke des elektrischen Ausgangs der Brennstoffzelle. Der Druck und gegebenenfalls die Temperatur des Reaktantengases in der Brennstoffzelle wird in Abhängigkeit von der Spannung und gegebenenfalls in Abhängigkeit von der Stromstärke des elektrischen Ausgangs reguliert, so daß die Nennspannung im wesentlichen aufrechterhalten wird.

Ein zusätzlicher Aspekt der Erfindung ist ein Verfahren zur Minimierung des Verbrauchs an parasitärer Leistung in einem System zur Erzeugung von elektrischer Leistung. Das System umfaßt wenigstens eine Brennstoffzelle, welche zu einer veränderlichen elektrischen Ausgangsleistung fähig ist. Der Brennstoffzelle wird ein Reaktantengas mittels eines Kompressors eingespeist, der durch von der Brennstoffzelle abgezweigte parasitäre Leistung betrieben wird.

Das Verfahren wird ausgeführt, indem eine Veränderung des Ausgangsstroms der Brennstoffzelle ermittelt und die Mengenflußrate verändert wird, während der Druck und das Reaktantennutzungsverhältnis des Reaktanten in der Brennstoffzelle im wesentlichen konstant gehalten werden, indem die Menge der zum Betreiben des Kompressors von der Ausgangsleistung abgezweigten parasitären Leistung verändert wird. In zweiter Linie können sowohl der Druck als auch die Mengenflußrate in Abhängigkeit von Veränderungen in der Ausgangsstromstärke der Brennstoffzelle verändert werden, während das Reaktantennutzungsverhältnis des Reaktanten in der Brennstoffzelle im wesentlichen konstant gehalten wird. Alternativ können der Druck, die Mengenflußrate und das Reaktantennutzungsverhältnis des Reaktanten in Reaktion auf Veränderungen der Ausgangsstromstärke der Brennstoffzelle verändert werden.

Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung sind Vorrichtungen, welche speziell zum Durchführen der oben beschriebenen Verfahren konstruiert sind.

Noch ein anderer Aspekt der Erfindung sind Vorrichtungen zum gleichzeitigen Regulieren des Drucks und der Mengenflußrate eines Reaktantengases in einem System zur Erzeugung von elektrischer Leistung, welches mindestens eine Brennstoffzelle umfaßt. Die Reguliereinrichtung umfaßt Vorrichtungen zum Beibehalten eines vorgegebenen Drucks des Reaktantengases am Reaktanteneingang der Brennstoffzelle; Vorrichtungen zum Messen der Stromstärke der Brennstoffzelle und Vorrichtungen zum Messen der Mengenflußrate am Reaktanteneingang der Brennstoffzelle; und Vorrichtungen zum Regulieren der Mengenflußrate des Reaktantengases am Reaktantenausgang der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von der Stromstärke der Brennstoffzelle und der am Reaktanteneingang gemessenen Mengenflußrate, um die erforderliche Mengenflußrate aufrechtzuerhalten.

### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Figur 1 ist die graphische Auswertung von Spannung gegenüber Stromstärke in einer Brennstoffzelle. Die beiden Eintragungen entsprechen jeweils einem Betrieb unter unterschiedlichen Temperatur- und Druckbedingungen.

Figur 2 ist ein schematisches Diagramm des erfindungsgemäßen Brennstoffzellensystems.

Figur 3 ist ein schematisches Diagramm einer kompressorbetriebenen Luftzufuhr gemäß der vorliegenden Erfindung zum Zuführen von Luft zu den Vorrichtungen von Fig. 2.

Figur 4 ist ein Flußdiagramm, das die zum Regulieren des Brennstoffzellensystems der Figuren 2 und 3 verwendete Steuerungslogik zeigt.

### Ausführliche Beschreibung der Erfindung

Die Erfindung wird zwar in Verbindung mit einer oder mehreren bevorzugten Ausführungsformen beschrieben, doch sollte klar sein, daß die Erfindung nicht auf diese Ausführungsformen beschränkt ist. Im Gegenteil umfaßt die Erfindung alle Alternativen, Abänderungen und Äquivalente, die in den Schutzzumfang der beigefügten Ansprüche eingeschlossen werden können.

Zuerst wird auf Figur 2 Bezug genommen, wobei ein integriertes, auf Brennstoffzellen basierendes System 200 zur Erzeugung von elektrischer Leistung einen Brennstoffzellenstapel 10 einschließt. Der Brennstoffzellenstapel 10 umfaßt negative und positive Sammelpplatten 22 bzw. 24, mit welchen ein Kreislauf elektrisch verbunden ist, der eine veränderbare Last 152 und einen Verbraucherschalter 154 umfaßt. Außer dem Brennstoffzellenstapel 10 umfaßt das integrierte System einen Brennstoff-

kreislauf (Wasserstoffkreislauf), einen Fließweg für ein Oxidationsmittel (sauerstoffhaltige Luft) und einen Wasserkreislauf.

Der Brennstoffkreislauf des in Figur 2 dargestellten Systems 200 umfaßt eine Zufuhr 112 von unter Druck stehendem, im wesentlichen reinen Wasserstoff mit einem Einlaßfilter 301 und einer damit verbundenen Brennstoffzuleitung 114. Ein Dreiwegeventil 116 ist üblicherweise so eingestellt, um den Fluß des Brennstoffs von der Zufuhr 112 durch den Brennstoffeinlaß 118 zu ermöglichen. Alternativ kann das Ventil 116 verstellt werden, um die Wasserstoffzufuhr zu isolieren und den Brennstoffkreislauf über einen Schalldämpfer 302 zu entlüften. Der Brennstoffstrom wird im Befeuchtungsbereich des Stapels 10 befeuchtet und nimmt an der elektrokatalytischen Oxidation des Brennstoffs in dem aktiven Bereich des Stapels 10 teil. Der befeuchtete austretende Brennstoffstrom 120 verläßt den Brennstoffzellenstapel 10 und wird in einen Wasserabscheider 126 eingespeist, in welchem ein Teil des Wassers des Stroms 120 entfernt wird, typischerweise durch Kondensation, und das entfernte Wasser wird in einem Behälter 128 gesammelt. Das entfernte Wasser wird periodisch aus dem Behälter 128 durch ein Wasserablaßventil 130, ein Rückschlagventil 132 und eine Entwässerungsleitung 134 entleert. Das Ventil 130 ermöglicht das Austreten von Wasser in dem Behälter 128, wenn das Wasser eine vorgegebene Tiefe übersteigt. Das Ventil 130 ist typischerweise ein integraler Bestandteil des Behälters 128.

Wie in Fig. 2 gezeigt, wird der den Wasserabscheider 126 verlassende entfeuchtete Brennstoffstrom 138 mittels einer Pumpe 140 durch die Rücklaufleitungen 142 und 150, ein entionisierendes Filter 122 und ein Rückschlagventil 151 zu dem eintretenden Brennstoffstrom 118 zurückgeführt. In regelmäßigen zeitlichen Abständen wird der entfeuchtete Brennstoffstrom in der Leitung 142 über die Leitung 144 ausgeblasen, um in dem Strom angesammelte Verunreinigungen auszustoßen. Eine solche Reinigung wird durch Betätigen eines Entleerungsventils 146 bewirkt, welches



den entfeuchteten Brennstoffstrom durch eine Leitung 148 und einen Schalldämpfer 303 in die Umgebung entlüftet. Der entfeuchtete Brennstoffstrom in der Leitung 142 wird während des Inbetriebnehmens ausgeblasen, um (1) überschüssiges Wasser aus den Brennstoffflußkanälen des Stapels 10 auszustoßen und (2) die Pumpe 140 zu entlasten, um ihre Betätigung zu erleichtern.

Der Oxidationsmittelkreislauf des Systems 200 umfaßt eine Quelle 162 von oxidierendem Gas in der Form einer Zufuhr von unter Druck stehender Luft mit einer Oxidationsmittelzufuhrleitung 163, welche über ein Einlaßfilter 326 zu einer Eintrittsleitung 164 führt. Bei der dargestellten Ausführungsform in Figur 2 enthält die Luft von der Quelle 162 von oxidierendem Gas ungefähr 20 Prozent Sauerstoff, so daß die Quelle 162 als eine Quelle eines verdünnten Reaktanten betrachtet werden kann. Ein Auf/Zu-Ventil 166 reguliert den Oxidationsmittelfluß von der Quelle 162 zu einer Leitung 168. Ein Mengendurchflußmeßwertgeber 358 überwacht den Mengenfluß von Oxidationsmittel in der Leitung 168. Der durch die Leitung 168 passierende Oxidationsmitteleintrittsstrom tritt in den Brennstoffzellenstapel 10 ein, wo der Oxidationsmittelstrom in dem Befeuchtungsbereich des Stapels 10 befeuchtet wird, und nimmt dann an der elektrokatalytischen Oxidation des Brennstoffs in dem aktiven Bereich des Stapels 10 teil. Der den Stapel 10 verlassende Oxidationsmittelaustrittsstrom 170 enthält zusätzlich zu den nicht umgesetzten Gasen Wasser von der Befeuchtung und mitgeführtes Produktwasser. Ein Thermoelement 172 mißt die Temperatur des Oxidationsmittelaustrittsstroms 170 gleich stromabwärts von dem Austritt aus dem Brennstoffzellenstapel 10 und betätigt ein Luftzirkulationssystem, das mit dem Kühlmittel-Wärmetauscher verbunden ist, wie unten beschrieben.

Der aus dem Brennstoffzellenstapel 10 austretende, befeuchtete Oxidationsmittelstrom 170 wird zu einem ersten Wasserabscheider 174 geleitet, wie in Figur 2 gezeigt. Der Wasserabscheider 174 entfernt das absorbierte und mitgeführte Wasser aus dem

Strom 170. Der bevorzugte Abscheider 174 ist ein Koaleszenzfilter, welches ein Element aus Borosilicatglasfaserwolle enthält, auf welchem Wasserdampf leicht kondensiert, wenn das Brennstoffgas es durchläuft. Das entfernte Wasser wird mittels eines Nadelventils 304 zur Durchflußregulierung, einer Leitung 305 und einer Leitung 124 weitergeleitet und in dem Sammelbehälter 176 gesammelt. Das überschüssige Wasser wird aus dem Sammelbehälter 176 durch eine Entwässerungsleitung 134 entleert.

Das den Abscheider 174 verlassende oxidierende Gas wird über eine Leitung 306 durch einen Wärmetauscher 307 geleitet, der das oxidierende Gas kühlt und Wärme an das aus dem Stapel 10 austretende Kühlwasser übergibt (wie im nachfolgenden näher beschrieben). Wenn das oxidierende Gas gekühlt wird, verringert sich seine Fähigkeit, Wasserdampf zu enthalten. Das oxidierende Gas wird dann über eine Leitung 310 durch ein zweites Koaleszenzfilter 308 geleitet. Das Filter 308 entfernt zusätzliches Wasser, welches über das Nadelventil 309 zur Durchflußmengenregulierung und die Leitung 124 zu dem Sammelbehälter 176 geleitet wird.

Da das Oxidationsmittel in der dargestellten Ausführungsform ein verdünnter Reaktant ist, wird es in dieser Ausführungsform nicht zurückgeführt. Stattdessen wird der entfeuchtete Oxidationsmittelstrom 178 durch ein Steuerventil 180 mit variabler Durchlaßöffnung und eine Dämpfungsleitung 182 in die Außenluft abgelassen. Das Ventil 180 wird geöffnet oder geschlossen, um die Oxidationsmittelfließrate durch das System 200 zu erhöhen oder zu verringern.

Dabei wird klar sein, daß bei Ausführungsformen, welche im wesentlichen reinen Sauerstoff als das Oxidationsmittel verwenden, der entfeuchtete Oxidationsmittelstrom 178 auf ähnliche Weise wie die oben beschriebene Rückführung des entfeuchteten Brennstoffstroms 138 in den Kreislauf zurückgeführt werden kann.

Der Kühlmittelkreislauf des Systems 200 erhält seine Kühlflüssigkeit von dem Wasser, welches aus dem befeuchteten Oxidationsmittelstrom 170 entfernt und in dem Sammelbehälter 176 gesammelt wird. Wie in Figur 2 gezeigt, verläßt ein Kühlwasserstrom 192 den Sammelbehälter 176 und wird durch eine Wasserpumpe 194 zu einem Wärmetauscheraggregat gepumpt, welches parallel zueinander angeordnete Wärmetauscher 210 und 312, ein Steuerventil 206, ein Rückschlagventil 208 und eine Luftumwälzvorrichtung 222 umfaßt. Die Luftumwälzvorrichtung 222 umfaßt vorzugsweise einen oder mehrere Ventilatoren. Während des Betriebs im eingeschwungenen Zustand ist das Ventil 206 geöffnet, um einen Kühlwasserstrom 314 durch die Wärmetauscher 210 und 312 zu leiten, wo der Kühlwasserstrom 314 Wärme an ein anderes Kühlfluid, vorzugsweise Luft, abgibt, wodurch ein gekühlter Kühlwasserstrom 196 erzeugt wird.

Die Wärmetauscher 210 und 312 sind parallel zueinander angeordnet, um ihren Strömungswiderstand in einem solchen Ausmaß zu verringern, daß das Kühlwasser durch sie durchfließt, anstatt die Wärmetauscher mittels des Ventils 208 zu umgehen, wann immer das Ventil 206 offen ist. Die Luftumwälzvorrichtung 222 wird in Gang gesetzt, wenn die von dem Thermoelement 172 gemessene Temperatur des den Stapel 10 verlassenden, befeuchteten Oxidationsmittelstroms einen vorgegebenen Wert übersteigt. Während der Inbetriebnahme des Systems oder zu Zeiten, in denen das Kühlwasser seine erwünschte Temperatur hat oder darunter liegt, wird das Ventil 206 geschlossen, damit der Wärmetauscher 210 umgangen wird und ein Kühlwasserstrom 314 über das Ventil 208 zu dem gekühlten Wasserstrom 196 umgeleitet wird, und zwar so, daß dem Strom 214 im wesentlichen keine Wärme entzogen wird.

Wie in Figur 2 gezeigt ist, wird der gekühlte Wasserstrom 196 durch ein entionisierendes Filter 198, eine Leitung 316, einen Strömungsschalter 318, eine Leitung 320 und einen Wassererhitzer 322 zu dem Wassereinlaß 202 des Stapels 10 geleitet. (Der

Strömungsschalter 318 schaltet das Brennstoffzellensystem 200 ab, wenn kein Wasser von der Leitung 316 zu der Leitung 320 fließt.)

Der Wassererhitzer 322 enthält eine elektrische Heizwendel, welche in erster Linie deshalb angeschaltet wird, um bei der Inbetriebnahme den Stapel 10 rasch auf seine Betriebstemperatur zu bringen, und in zweiter Linie zum Aufrechterhalten einer Mindestbetriebstemperatur des Stapels zu anderen Zeitpunkten. Das den Stapel 10 verlassende Wasser wird durch die Leitung 204, den Wärmetauscher 307 und die Leitung 374 zu dem Sammelbehälter 176 geführt.

Nun wird auf Figur 3 Bezug genommen und eine bevorzugte Quelle 162 von oxidierendem Gas (in Figur 2 als ein Block dargestellt) ausführlicher beschrieben. Die Quelle 162 umfaßt einen Einlaß 324, welcher durch ein Luftfilter 328 gegen das Einführen von Fremdkörpern geschützt ist. Das Luftfilter 328 führt zu einem Kompressor 330, hier ein Kompressor mit veränderbarer Geschwindigkeit und konstanter Verdrängung, der von einem Motor 332 betrieben wird. Der Motor wird von einem Motordrehzahlregler 334 gesteuert. Die Motorgeschwindigkeit und somit die Luftmengenfließrate und der Druck werden durch einen Druckregler 345 gesteuert, dessen Zweck im folgenden ausführlicher beschrieben wird.

Komprimierte Luft verläßt den Kompressor 330 über die Leitung 336 und tritt in einen Druckspeicherbehälter 338 ein. Bei einer erfindungsgemäßen Ausführungsform wird der von der Quelle 162 von oxidierendem Gas gelieferte Druck durch Verändern des Sollwerts des Druckreglers 345 variiert, anstatt durch Regulieren des Ausgangs zu der Leitung 163 von dem Druckspeicherbehälter 338. Der Druckregler 345 hält den Sollwertdruck über ein Steuersignal 347 zu dem Motordrehzahlregler 334 in der Art eines Regelkreises in Antwort auf Signal 343 von einem Druckmeßwertgeber 344 aufrecht. Eine Veränderung der Motorgeschwin-

digkeit verändert die Luftfließrate, was außerdem den Mechanismus darstellt, mittels welchem Druck verändert wird. Bei der Verwendung dieser Ausführungsform kann der Druckspeicherbehälter 338 ein ziemlich bescheidenes Fassungsvermögen haben und wird im wesentlichen auf dem Zufuhrdruck gehalten. Bei dieser Ausführungsform ist der Hauptzweck des Druckspeicherbehälters 338 nicht das Speichern einer beträchtlichen Füllmenge komprimierter Luft, sondern die Dämpfung kurzzeitiger Schwankungen in dem Ausgangsdruck des Kompressors 330 oder der Verbrauchsschwankungen in dem Brennstoffzellensystem.

Der Druck des Druckspeicherbehälters ist durch einen Druckentlastungspfad begrenzt, welcher die Leitung 339, einen zu einem Druckmeßwertgeber 344 führenden Druckschwingungsdämpfer 342 und ein Druckbegrenzungsventil 346 umfaßt, welches das Freisetzen von Luft über die Abluftleitung 348 zu dem Dämpfer 350 regelt. Das Druckbegrenzungsventil 346 öffnet sich wenn nötig, um zu verhindern, daß der Druck in dem Druckspeicherbehälter 338 über einen Sollwert hinaus ansteigt. Wenn die Luftleitung vor Beendigung des Betriebs ausgeblasen werden soll, kann das Ventil 354 durch Signal 349 von dem Druckregler 345 geöffnet werden, um den Inhalt des Druckspeicherbehälters 338 durch die Leitungen 356 und 348 und dann durch den Dämpfer 350 hinauszublasen.

Nun wird auf Figur 4 Bezug genommen, in welcher die Steuerungslogik der bevorzugten Ausführungsform schematisch dargestellt ist. Die erforderliche Mengenflußrate des oxidierenden Gases durch den Stapel 10 und somit durch den Mengendurchflußmeßwertgeber 358 wird durch den Durchflußrechner 340 ermittelt. Der Durchflußrechner 340 spricht in erster Linie auf das Stromstärkesignal 381 von dem Stromstärkemeßwertgeber 362 und in zweiter Linie auf das Mengenflußratensignal 383 von dem Mengendurchflußmeßwertgeber 358 an.

Der Sauerstoffnutzungsverhältnisrechner 341 berechnet das Sauerstoffnutzungsverhältnis, das für einen optimalen Betrieb der

Brennstoffzelle geeignet ist, und speist diese Information über das Signal 387 dem Durchflußrechner 340 ein. Das optimale Sauerstoffnutzungsverhältnis oder OUR kann für den gesamten Wertebereich der möglichen Betriebsbedingungen empirisch ermittelt werden, indem die Brennstoffzelle für den Betrieb unter repräsentativen Bedingungen konfiguriert und dann das OUR automatisch angepaßt wird, bis ein optimaler Betrieb erreicht ist. Ein Kriterium für den optimalen Betrieb, doch keineswegs das einzige Kriterium, ist ein minimales Niveau der parasitären Leistung bei einer vorgegebenen Nettoausgangsleistung der Brennstoffzelle. (Die Nettoausgangsleistung ist die Bruttoausgangsleistung abzüglich der parasitären Leistung).

Die erwünschte Mengenflußrate wird realisiert und beibehalten, indem die Öffnungsgröße des Steuerventils 180 verändert wird, bis der Durchflußrechner 340 das Erreichen der erwünschten Durchflußmenge feststellt. Jede danach auftretende Abweichung von der erwünschten Mengenflußrate wird auf gleiche Weise an dem Mengendurchflußmeßwertgeber 358 detektiert und von dem Durchflußrechner 340 durch das Steuersignal 389 an das Steuerventil 180 korrigiert.

Die in Figur 4 dargestellte Vorrichtung umfaßt außerdem ein Spannungspotential 364 und einen Stromstärkemeßwertgeber 362 (beide auch in Fig. 2 gezeigt) als Sensoren für die Spannung und den Strom des elektrischen Ausgangs des Stapels 10. Diese Eingänge liefern die notwendige Information zum Einstellen der Stapelspannung auf einen konstanten Wert für verschiedene Ausgangs- oder Laststromstärken.

Nun wird wieder auf Figur 1 Bezug genommen, worin das Prinzip dargestellt wird, welches das Regeln der Spannung des Stapels ermöglicht. Eine Kurve 366 zeigt die Beziehung zwischen der Stapelspannung und der Stapelstromstärke bei einem oxidierendem Gas von 103,42 kPa (Druck) (Überdruck 15 psi) und einer Wasserstoffzufuhr von ebenfalls 103,42 kPa (Druck) (Überdruck 15 psi).

Die Kurve 366 wurde außerdem bei einer Temperatur des Oxidationsmittelausgangs aus der Brennstoffzelle von 65° C und einem Sauerstoffnutzungsverhältnis von 2,0 erstellt. Wenn die Stromstärke erhöht wird, sinkt die Spannung (genau so, wie bei einer jeden nichtgeregelten Leistungszufuhr zu erwarten wäre). Eine Kurve 368 zeigt den Betrieb der Brennstoffzelle bei einem Wasserstoffdruck und einem Druck des oxidierenden Gases von 206,84 kPa (Druck) (Überdruck 30 psi) bei einer Temperatur von 70° C und einem Sauerstoffnutzungsverhältnis von 2,0.

Bei einer Spannung von ungefähr 35 Volt unter den Bedingungen von Kurve 366 kann ein Laststrom von ungefähr 125 Ampere geliefert werden. Wenn die Stromstärke aus irgendeinem Grund auf ungefähr 175 Ampere erhöht wird und alle anderen Bedingungen gleichbleiben, sinkt die Spannung auf ungefähr 32 Volt. Wenn jedoch das System auf eine Veränderung des Verbrauchs mit einer Erhöhung des Luftdrucks und des Wasserstoffdrucks auf 206,84 kPa (Druck) (Überdruck 30 psi) und der Temperatur auf 70° C reagiert, welche die Bedingungen des Graphen 368 sind, wird die Spannung bei 35 V beibehalten, ungeachtet der Veränderung des Verbrauchs oder der Stromstärke der Brennstoffzelle 10.

Der Druck kann in Inkrementen, die viel kleiner oder etwas größer als 103,42 kPa (Überdruck 15 psi) sind, in Antwort auf Veränderungen der Stromstärke, die viel kleiner oder etwas größer sind als 50 Ampere, verändert werden, um eine genauere Steuerung oder eine Steuerung über einen großen Bereich von Bedingungen zu erzielen. Doch das Betriebsprinzip ist dasselbe.

Um auf Figur 4 zurückzukommen, so kann das eben erläuterte Prinzip auch zum Regulieren der Spannung des Stapels 10 verwendet werden. Das Voltmeter 364 ermittelt die tatsächliche Spannung der Zelle 10 und schickt diese Information an den Rechner 370, der auch Daten speichert, welche die erwünschte Spannung des Stapels anzeigen; der Rechner 370 erhält als zweiten Eingang die tatsächliche Stapelstromstärke von dem

Stromstärkenmeßwertgeber 362. Der Rechner 370 ermittelt den zum Erzielen der gewählten Spannung erforderlichen Stapeldruck. Dieser Stapeldruck wird über ein Steuersignal 385 der Luftquelle 162 und der entsprechenden Struktur der Wasserstoffquelle 112 übermittelt. Diese Quellen werden reguliert, um dem Stapel 10 den jeweils erforderlichen Druck zu liefern. (Bei dieser Ausführungsform umfaßt die Wasserstoffquelle unter Druck in Stahlflaschen abgefüllten Wasserstoff und ihr Ausgangsdruck wird von einem herkömmlichen Regler reguliert).

Gleichermaßen kann die Temperatur in dem Stapel verändert werden, um die Spannung der Zelle zu regulieren, wobei sie in erster Linie auf Veränderungen der Spannung und in zweiter Linie auf Veränderungen der Stromstärke der Zelle anspricht.

Die Temperatur des Stapels wird normalerweise und wünschenswerterweise in Antwort auf Druckveränderungen verändert, teilweise auch zum Beibehalten der Befeuchtung der jeweiligen Gaszufuhr auf einem für den Betrieb der Zelle geeigneten Niveau.

Folglich wird der von Signal 391 übermittelte Drucksollwert auch einem Temperaturrechner 372 übermittelt, welches den erwünschten Stapeltemperatursollwert ermittelt. Eine Temperatursteuerschleife, umfassend den Temperaturrechner 372 und das Thermoelement 172, steuert den Betrieb des Ventils 206, wodurch das Kühlwasser durch die Wärmetauscher 210 und 312 oder um sie herum geleitet wird. Stattdessen oder aber zusätzlich kann der Ventilator 222 zum Verstärken der Kühlung betrieben werden, zum Verringern der Kühlung angehalten werden, oder seine Geschwindigkeit moduliert werden, um den Grad der Kühlung in den Wärmetauschern 210 und 312 zu modulieren. Auf diese Weise kann die erwünschte Stapeltemperatur erreicht und beibehalten werden.

Unter Bezugnahme auf die Figuren 3 und 4 ist noch ein weiterer Aspekt der Erfindung eine Möglichkeit zum Verringern der parasitären Leistung, welche von dem Kompressormotor 332 der Luft-



quelle 162 abgezweigt wird, wenn der Stapel bei einer verringerten oder geringen Last betrieben wird. Herkömmlicherweise wird der Motor 332 auf eine "alles oder nichts"-Manier betrieben, so daß er entweder den Druck in einem großzügig bemessenen Druckspeicherbehälter 338 rasch wiederherstellt oder aber bei einem adäquaten Druck in dem Druckspeicherbehälter 338 abgeschaltet wird. Würde diese herkömmliche Methode der Luftverdichtung mit der vorliegenden Erfindung kombiniert, bei welcher der Druck des oxidierenden Gases steigt und fällt, um die Stapelspannung zu regulieren, würde der Motor 332 in diesem System einen Teil der Zeit die volle Leistung abzweigen, wodurch ein sehr hoher Übergangsverbrauch von parasitärer Leistung und starke Übergänge in der Stapelspannung bewirkt würden.

Gemäß der vorliegenden Erfindung ist der parasitäre Verbrauch des Motors 332 fortdauernd, doch so gering wie möglich, da die Geschwindigkeit und der Leistungsverbrauch des Motors 332 und somit diejenigen des Kompressors 330 verringert sind, um die Reaktantenmengenflußrate zu verringern, während ein vorher bestimmter Druck in dem Druckspeicherbehälter 338 und somit in dem Stapel 10 beibehalten wird, wenn der Laststrom gering ist. Das System kann somit bei einem geringen Leistungsverbrauch effizienter arbeiten.

Die Drehzahlregulierung des Motors 332 anstelle seines intermittierenden Betriebs bietet noch weitere Vorteile. Beispielsweise kann das System leichter gesteuert werden, wenn die Möglichkeit zum Bewirken verhältnismäßig geringer Veränderungen in der Geschwindigkeit des Motors 332 sowie die herkömmlichen Möglichkeiten, ihn an- oder abzustellen, gegeben sind. Um ein weiteres Beispiel zu nennen, wenn der Motor 332 anfänglich abgeschaltet ist und dann angeschaltet wird, wird beim Anlaufen eine große elektrische Last als parasitäre Leistung von dem Brennstoffzellensystem abgezweigt, wodurch der parasitäre Verbrauch momentan drastisch erhöht und das System ungünstigerweise gestört wird. Kleine Veränderungen der Geschwindigkeit

des Motors 332, wenn er läuft, verursachen keine Anlaufbelastung, so daß der Verbrauch an parasitärer Leistung sich nicht abrupt ändert, wenn der Oxidationsmitteldruck durch Steuerung beeinflusst wird.

Ein begleitender Vorteil der direkten Steuerung des Motors 332 zum Regulieren des Drucks liegt darin, daß der Druckspeicherbehälter 338 nicht mehr eine Menge an Druck speichert, sondern bloß Druckschwankungen dämpft. Daher wird ein weit kleinerer Druckspeicherbehälter 338 ermöglicht, wodurch Raum, Gewicht und Gerätekosten eingespart werden können.

Ein weiteres Merkmal der vorliegenden Erfindung ist die Möglichkeit, das Ausgangssignal des Mengendurchflußmeßwertgebers 358 an dem Eingang des oxidierenden Gases des Stapels 10, den von dem Druckspeicherbehälter 338 zugeführten Druck und das veränderbare Steuerventil 180 an der Ausgangsleitung 178 stromabwärts des Stapels 10 so zu koordinieren, um unabhängig voneinander den Druck und die Mengenflußrate des oxidierenden Gases durch den Stapel 10 zu variieren.

Wenn die Durchflußrate des oxidierenden Gases erhöht werden soll, ohne seinen Druck zu verringern, wird das veränderbare Steuerventil 180 geöffnet, bis der Meßwertgeber 358 das Erreichen der erwünschten Mengenflußrate detektiert. Da eine nichtkompensierte Erhöhung der Mengenflußrate von einem Druckabfall begleitet wäre, wird gleichzeitig der Druck innerhalb des Druckspeicherbehälters 338 durch den Meßwertgeber 344 überwacht.

Daraus entstehenden Neigungen zu einem Druckgefälle wird durch Erhöhen der Geschwindigkeit des Motors 332 in ausreichendem Maße entgegengewirkt, um den Sollwert-Druck innerhalb des Druckspeicherbehälters 338 wiederherzustellen. Soweit dies wiederum die Mengenflußrate durch den Sensor 358 leicht verändert, wird in einer zweiten Iteration das Ventil 180 wieder verstellt, um die Durchflußrate durch den Meßwertgeber 358 wiederherzustellen.

Wenn das System korrekt konfiguriert ist, werden die nachfolgenden Störungen der Drucksteuerung und der Mengenflußregelung immer geringer werden und ein neuer Betriebszustand bei der neuen Mengenflußrate und dem ursprünglichen Druck wird schnell erreicht.

Auf ähnliche Weise kann eine Veränderung des Systemdrucks, ausgelöst durch Verändern der Geschwindigkeit des Motors 332 oder Verändern des Drucks innerhalb des Druckspeicherbehälters 338 auf andere Weise, ohne Verändern der Mengenflußrate durchgeführt werden (abgesehen von den kleinen und temporären Störungen der Mengenflußrate, die durch die Druckveränderung ausgelöst werden).

Die unabhängige Regulierung des Drucks und der Mengenflußrate ermöglicht unabhängige Veränderungen des Sauerstoffnutzungsverhältnisses und die Regulierung der Spannung der Zelle zur Anpassung an unterschiedliche Strombelastungen der Brennstoffzelle.

EP 0 630 528

## P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Verfahren zur Regulierung der Nutzung eines Reaktantengases in einem System zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches aufweist

mindestens eine Brennstoffzelle, einen Eingang zu dieser Brennstoffzelle für ein Reaktantengas mit wenigstens einem Reaktantenbestandteil sowie gegebenenfalls einem inerten Bestandteil, einem Ausgang von dieser Brennstoffzelle für das Reaktantengas und einem durch eine Spannung sowie einen Strom charakterisierten elektrischen Ausgang, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:

- A. Auswählen eines Reaktantennutzungsverhältnisses für diese Brennstoffzelle, welches definiert ist als Menge des pro Zeiteinheit dem Reaktantengaseingang zugeführten Reaktantenbestandteils, dividiert durch die pro Zeiteinheit in der Brennstoffzelle verbrauchte Reaktantenbestandteilsmenge;
- B. Festsetzen einer das ausgewählte Reaktantennutzungsverhältnis bewirkenden Mengenflußrate des Reaktantengases durch die Brennstoffzelle;
- C. Messung der tatsächlichen Reaktantengas-Mengenflußrate am Reaktantengaseingang sowie des Ausgangsstromes der Brennstoffzelle; und

D. Regeln der Reaktantengas-Mengenflußrate am Reaktantengasausgang der Brennstoffzelle in Abhängigkeit vom Ausgangsstrom sowie von der am Reaktantengaseingang gemessenen Reaktantengas-Mengenflußrate derart, daß die festgesetzte Mengenflußrate im wesentlichen aufrechterhalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Reaktantenbestandteil Sauerstoff ist.
3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Reaktantengas Luft ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Reaktantenbestandteil Wasserstoff ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das Reaktantengas aus einer Gruppe ausgewählt wird, welche Wasserstoffgas, reformiertes Naturgas, reformiertes Methanol, Kombinationen hiervon sowie Recyclingsprodukte hiervon umfaßt.
6. Verfahren nach Anspruch 1, welches zusätzlich den Schritt des Zurückführens mindestens eines Teils des am Brennstoffzellenausgang anfallenden Reaktantenbestands zum Brennstoffzelleneingang umfaßt.
7. Verfahren nach Anspruch 1, welches zusätzlich den Schritt umfaßt, daß das Reaktantengas in der Brennstoffzelle auf einem vorgegebenen Druck gehalten wird.
8. Verfahren zur Bereitstellung einer ungeachtet von Ausgangsstromschwankungen im wesentlichen konstanten Ausgangsspannung eines Systems zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches aufweist

mindestens eine Brennstoffzelle, einen Eingang zu dieser Brennstoffzelle für ein Reaktantengas sowie einen durch eine Spannung und einen Strom charakterisierten elektrischen Ausgang, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:

- A. Auswählen einer Nennausgangsspannung der Brennstoffzelle,
  - B. mindestens periodisches Ermitteln der am elektrischen Ausgang der Brennstoffzelle verfügbaren tatsächlichen Spannung sowie gegebenenfalls des Stroms, und
  - C. Regeln des Drucks des Reaktantengases in der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von der Spannung und gegebenenfalls in Abhängigkeit vom Strom des elektrischen Ausgangs derart, daß am elektrischen Ausgang die Nennspannung im wesentlichen aufrechterhalten wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, welches zusätzlich den Schritt des Regelns der Temperatur der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von der Spannung sowie gegebenenfalls des Stroms des elektrischen Ausgangs umfaßt, um so am elektrischen Ausgang die Nennspannung im wesentlichen aufrechtzuerhalten.
10. Verfahren zum Minimieren des Verbrauchs an parasitärer Leistung, definiert als vom elektrischen Ausgang einer Brennstoffzelle für den Betrieb von Pumpen, Steuer- bzw. Regelsystemen und anderer, den Betrieb eines Brennstoffzellensystems aufrechterhaltender Geräte abgezweigte Leistung, in einem System zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches mindestens eine Brennstoffzelle mit einem Ausgang variabler elektrischer Lei-

stung, einen Reaktantengaseingang zu dieser Brennstoffzelle sowie einen durch von dem Ausgang für elektrische Leistung abgezweigte parasitäre Leistung betriebenen Kompressor zum Verdichten des Reaktantengases in der Brennstoffzelle umfaßt, wobei dieses Verfahren die folgenden Schritte aufweist:

- A. Ermitteln, daß sich der Ausgangsstrom der Brennstoffzelle verändert hat, und
  - B. Verändern der Mengenflußrate in Abhängigkeit von Ausgangsstromänderungen bei gleichzeitiger ungefäh-  
rer Konstanthaltung des Drucks sowie des Reaktantennutzungsverhältnisses des Reaktanten in dieser Brennstoffzelle, so daß dadurch die Größe der vom Ausgang für elektrische Leistung für den Kompressorantrieb abgezweigten parasitären Leistung verändert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Schritt (B) umfaßt ein Verändern des Drucks und der Mengenflußrate in Abhängigkeit von Ausgangsstromänderungen bei gleichzeitiger ungefäh-  
rer Konstanthaltung des Reaktantennutzungsverhältnisses des Reaktanten in der Brennstoffzelle, so daß dadurch die Größe der vom Ausgang für elektrische Leistung für den Kompressorantrieb abgezweigten parasitären Leistung verändert wird.
  12. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem der Schritt (B) umfaßt ein Verändern des Drucks, der Mengenflußrate und des Reaktantennutzungsverhältnisses des Reaktanten in der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von Ausgangsstromänderungen, so daß dadurch die Größe der vom Ausgang für elektrische Leistung für den Kompressorantrieb abgezweigten parasitären Leistung verändert wird.

13. System mit variabler Ausgangsleistung zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches umfaßt:

- A. mindestens eine Brennstoffzelle mit einem Eingang für ein Reaktantengas mit einem Reaktantenbestandteil sowie gegebenenfalls einem inerten Bestandteil, einem Ausgang für das Reaktantengas, sowie Vorrichtungen zum Umsetzen des Reaktantenbestandteils zwecks Erzeugung elektrischer Leistung, welche durch eine Spannung und einen Strom charakterisiert ist;
- B. eine Vorrichtung zum Festsetzen einer Mengenflußrate des Reaktantengases, welche ein gewünschtes Reaktantennutzungsverhältnis bewirkt, das definiert ist als Menge des pro Zeiteinheit dem Reaktantengaseingang zugeführten Reaktantenbestandteils, dividiert durch die pro Zeiteinheit in der Brennstoffzelle verbrauchte Reaktantenbestandteilsmenge;
- C. einen Stromsensor zum Messen des Ausgangsstroms der Brennstoffzelle, welcher ein Meßstromsignal erzeugt;
- D. einen Mengenflußratensensor am Reaktantengaseingang der Brennstoffzelle zum Messen der Reaktantengasmengenflußrate, welcher ein Meßflußratensignal erzeugt; und
- E. ein Ventil am Reaktantengasausgang der Brennstoffzelle zum Aufrechterhalten der festgesetzten Reaktantengasmengenflußrate, welches auf das Meßstromsignal und das Meßflußratensignal anspricht.

14. System nach Anspruch 13, bei dem in dem den Reaktantengasausgang verlassenden Reaktantengas Wasserdampf enthalten ist und welches desweiteren umfaßt stromabwärts



des Reaktantenausgangs vorgesehene Rückgewinnungsvorrichtungen zur Rückgewinnung von Wasser aus dem Reaktantenstrom, und bei dem das Ventil am Reaktantengasausgang stromabwärts der Rückgewinnungsvorrichtungen angeordnet ist.

15. Spannungsgeregeltes System mit veränderlichem Strom zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches umfaßt:

- A. mindestens eine Brennstoffzelle mit einem Reaktantengaseingang und einem elektrischen Ausgang, welcher durch eine Spannung sowie einen Strom charakterisiert ist;
- B. eine auf die Ausgangsspannung sowie gegebenenfalls auf den Ausgangsstrom der Brennstoffzelle ansprechende Vorrichtung zur Festsetzung eines Drucks sowie gegebenenfalls einer Temperatur des Reaktantengases in der Brennstoffzelle zum Halten der Ausgangsspannung des Systems auf einem vorgegebenen Niveau; und
- C. eine Vorrichtung zum ungefähren Aufrechterhalten des festgesetzten Reaktantengasdrucks in der Brennstoffzelle.

16. System mit variabler Ausgangsleistung zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches umfaßt:

- A. mindestens eine Brennstoffzelle mit einem Reaktantengaseingang sowie einem durch eine Spannung sowie einen Strom charakterisierten elektrischen Ausgang;
- B. einen durch von diesem elektrischen Ausgang abgezweigte Leistung angetriebenen Kompressor zum Verdichten des Reaktantengases in der Brennstoffzelle; und

C. Vorrichtungen zum Verändern einer oder mehrerer der Größen Druck, Mengenflußrate und Reaktantennutzungsverhältnis des Reaktantengases in der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von Veränderungen des Ausgangsstroms der Brennstoffzelle, um die Größe der vom elektrischen Ausgang für den Kompressorantrieb abgezweigten Leistung zu verändern.

17. Einrichtung zur gleichzeitigen Regelung der Mengenflußrate sowie des Drucks eines Reaktantengases in einem System zur Erzeugung elektrischer Leistung, welches mindestens umfaßt eine Brennstoffzelle mit einem Reaktantengaseingang für die Zufuhr eines Reaktantengases sowie einem Reaktantenausgang zum Abführen des Reaktantengases und mit einem durch eine Spannung sowie einen Strom charakterisierten elektrischen Ausgang, wobei die Einrichtung umfaßt:

- A. eine Vorrichtung zum Halten des Reaktantengases am Reaktantengaseingang unter einem vorgegebenen Druck;
- B. eine Vorrichtung zur Messung des Ausgangsstroms;
- C. eine Vorrichtung zum Messen der Mengenflußrate des Reaktantengases am Reaktantengaseingang; und
- D. eine Vorrichtung zur Regelung der Mengenflußrate des Reaktantengases am Reaktantenausgang der Brennstoffzelle in Abhängigkeit von dem gemessenen Ausgangsstrom sowie der gemessenen Mengenflußrate.

FIG. 1

